

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-133159

(43)Date of publication of application : 22.05.1998

(51)Int.Cl.

G02F 1/035

G02B 6/12

G02B 6/13

(21)Application number : 09-085579

(71)Applicant : NGK INSULATORS LTD

(22)Date of filing : 21.03.1997

(72)Inventor : MINAKATA MAKOTO

IMAEDA MINORU

YOSHINO TAKASHI

KATO KENJI

(30)Priority

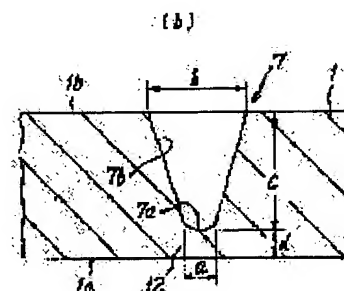
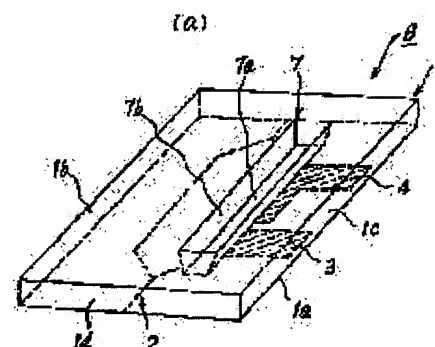
Priority number : 08255301 Priority date : 06.09.1996 Priority country : JP

(54) OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE, PROGRESSIVE WAVEFORM OPTICAL MODULATOR AND PRODUCTION OF OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the operating speed of an optical waveguide device having a substrate, an optical waveguide formed on the one main surface side of the substrate and electrode parts.

SOLUTION: This optical waveguide device 8 has the substrate 1 having a pair of the main surfaces 1a, 1b facing each other, the optical waveguide 2 formed on the one main surface 1a side of the substrate 1 and the electrode parts 3, 4. The substrate 1 is provided with a thin part 12 of a relatively thin thickness part in at least the positions of the electrode parts 3, 4. More preferably, the thickness of the thin part 12 is ≥ 5 to $\leq 50\mu\text{m}$ and the thickness of the thin part 12 exclusive of the thin part 12 is $\geq 150\mu\text{m}$. The thin part 12 is formable by subjecting the thin part 12 to abrasion working or grinding from the one main surface 1b side.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The optical-waveguide device to which it is an optical-waveguide device equipped with a substrate equipped with the principal plane of the couple which carries out phase opposite, the optical waveguide currently formed in one principal plane side of this substrate, and electrode section, and thickness is characterized by preparing a part for a small thin-walled part relatively in the position of the aforementioned electrode section at the aforementioned substrate at least.

[Claim 2] The optical-waveguide device according to claim 1 characterized by forming the aforementioned substrate and the aforementioned optical waveguide with the single crystal more than a kind chosen from the group which consists of a lithium niobate single crystal, a lithium-tantalate single crystal, and a lithium-niobate-lithium-tantalate solid-solution single crystal.

[Claim 3] The optical-waveguide device according to claim 1 or 2 characterized by the thickness of the aforementioned closing-in portion being 5 micrometers or more and 50 micrometers or less.

[Claim 4] The optical-waveguide device according to claim 3 characterized by the thickness of the aforementioned substrates other than the aforementioned closing-in portion being 150 micrometers or more and 1000 micrometers or less.

[Claim 5] The optical-waveguide device of any one publication of the claim 1-4 characterized by the direction of the aforementioned substrate being X cut or Y cut direction.

[Claim 6] The manufacture method of the optical-waveguide device characterized by forming the aforementioned closing-in portion by giving processing to any one claim of the claims 1-5 from the principal plane side of another side of the aforementioned substrate on the occasion of manufacturing the optical-waveguide device of a publication.

[Claim 7] The manufacture method of the optical-waveguide device according to claim 6 characterized by forming the aforementioned closing-in portion by the ablation processing method.

[Claim 8] The manufacture method of the optical-waveguide device according to claim 6 characterized by forming the aforementioned closing-in portion with machining.

[Claim 9] The progressive wave form optical modulator which is the electrode of the couple for impressing the voltage for the aforementioned electrode section modulating the light which spreads the inside of the aforementioned optical waveguide, and is characterized by having the power supply which supplies power to the aforementioned electrode section by being the progressive wave form optical modulator which equips any one claim of the claims 1-5 with the optical-waveguide device of a publication, and the aforementioned substrate consisting of an electro-optics single crystal of a ferroelectricity.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] this invention relates to an optical-waveguide device and its manufacture methods, such as a progressive wave form optical modulator.

[0002]

[Description of the Prior Art] In an optical-communication field, fast increase of channel capacity is predicted and, for this reason, the capacity of an optical-transmission system needs to be increased. In the present condition, although transmission speed of 1.6GB/second is being put in practical use, as compared with the frequency band (about 200 THz(es)) which can transmit an optical fiber, it is put in practical use at most about 1/100,000. It being important for increasing transmission capacity by leaps and bounds is developing light modulation technology.

[0003] The progressive wave form optical modulator which applied a lithium niobate (LiNbO₃), a lithium tantalate (LiTaO₃), and gallium arsenide (GaAs) to the optical waveguide is equipped with the outstanding property, and may be able to attain high bandwidth-ization in high efficiency. A lithium niobate and a lithium tantalate are the material which was very excellent as a ferroelectric, and an electro optic constant is large and has the advantage that control of light is possible, by the short optical path. As a factor which restricts the modulation rate of a progressive wave form optical modulator, speed mismatching, distribution, electrode dissipation, etc. are mentioned. Among these, about speed mismatching and distribution, since it is mainly determined by the structure of a progressive wave form optical modulator, the analysis and a design of structure are important. On the other hand, about electrode dissipation, the conductivity and the skin effect of material are important.

[0004] Speed mismatching is explained further. In the progressive wave form electrode, the speed of the light which advances the inside of an optical waveguide, and the electrical signal (microwave) which spreads the inside of an electrode differs greatly. It is the speed of the light which spreads under a crystal V₀ It carries out and speed of microwave is set to V_m. For example, LiNbO₃ which has a planar type electrode In the case of an optical modulator, it is as follows. First, LiNbO₃ The refractive index of a single crystal is 2.14 and the speed of the light which advances the inside of an optical waveguide is in inverse proportion to this. on the other hand -- the effective refractive index of microwave -- a conductor -- it is given by the square root of a nearby dielectric constant LiNbO₃ The dielectric constant of a single crystal is optically uniaxial, Z shaft orientations are 28 and X shaft orientations, and Y shaft orientations are 43. Therefore, even if it takes into consideration the influence of the air whose dielectric constant is 1, it is LiNbO₃ of the conventional structure. The effective refractive index of the microwave in an optical modulator will be set to about 4, and will be about 1.9 times 2.14. Therefore, the speed of a light wave is about 1.9 times as large as the speed of microwave.

[0005] The upper limit of the light modulation bandwidth f_m or a modulation rate is proportional to the inverse number of the speed difference of a light wave and microwave. That is, $f_m = 1/(V_0 - V_m)$ is materialized. Therefore, if electrode dissipation are assumed to be 0, bandwidth f_mx electrode length l=9.2 GHz-cm will serve as a limitation. In the optical modulator of l= 2.5mm of electrode length, the value of f_m=40GHz is actually reported. The influence by the limitation of this working speed becomes remarkable, so that an electrode is long. Therefore, it is a wide band and realization of the optical modulator which has a high performance characteristic is desired strongly.

[0006] In optical-waveguide devices, such as a recently and optical-waveguide type high-speed modulator and a high-speed switch By making the configuration of the electrode of the upper part of a substrate into a special configuration, or forming a glass deposit forming into a high wide band phase matching frequency between the light which advances the interior of an optical waveguide, and the modulation voltage impressed from the outside to dozens of GHz is proposed (the number for "O plus E" May, 1995 -- 91st page - 97 pages and "EO device using LN")

[0007] since the speed of microwave is decided by the average of the dielectric constant of the field along which the

line of electric force which connects a narrow signal electrode and a ground electrode passes according to this reference -- the thickness of an electrode -- large -- carrying out -- SiO₂ from -- it is supposed by enlarging thin thickness of a buffer layer that a modulation rate will improve. Moreover, a progressive wave electrode is a transmission path and needs to bring the characteristic impedance close to 50 ohms. Pushing out and forming various electrodes and buffer layers of a gestalt, such as a form, an eaves form, a ditch excavation form, and a shielded type, as a design with which are satisfied of these conditions, is proposed.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the progressive wave form optical modulator of such structure, since it is necessary to form the electrode of a buffer layer and a complicated configuration in the upper part of a substrate, these manufacture processes are complicated, there are many processes, and cost is high. And it is necessary to hold the precision of high alignment between the portion of an optical waveguide, and the complicated buffer layer of a configuration and a complicated electrode. Furthermore, by generation of the damaged layer by the processing damage, properties, such as an optical refractive index, tend to change, it sees from the result of the simulation of an optical-waveguide device, a property deteriorates, and an optical-absorption property and an extinction-ratio property become inadequate.

[0009] And though the trouble on such difficult manufacture was solvable, the high-speed modulation of 10 or more GHz-cm was still difficult.

[0010] The technical problem of this invention is raising the working speed in an optical-waveguide device equipped with a substrate equipped with the principal plane of the couple which carries out phase opposite, the optical waveguide currently formed in one principal plane side of this substrate, and electrode section.

[0011] Furthermore, the technical problem of this invention is enabling it to manufacture such a progressive wave form optical modulator with the few number of processes with enabling a high-speed modulation, making highly precise alignment unnecessary, and also preventing generation of the damaged layer by the processing damage in a progressive wave form optical modulator.

[0012]

[Means for Solving the Problem] this invention is an optical-waveguide device equipped with a substrate equipped with the principal plane of the couple which carries out phase opposite, the optical waveguide currently formed in one principal plane side of this substrate, and electrode section, and relates to a substrate in the position of electrode section at the optical-waveguide device to which thickness is characterized by preparing a part for a small thin-walled part relatively at least.

[0013] Although this invention person had continued research to offer a progressive wave form optical modulator which solves the aforementioned technical problem and operates conventionally at high speed, he is this process and hit on an idea of thickness preparing a part for a small thin-walled part in a ferroelectricity substrate relatively in the position of electrode section at least by giving processing from the rear-face side of a ferroelectricity substrate. And when various kinds of simulations were carried out using this progressive wave form optical modulator and the browning tone experiment was conducted, it found out that the modulation in high speed was [of 15 or more GHz-cm] very possible, and this invention was reached.

[0014] And by forming a slot or a crevice in the rear-face side of such a ferroelectricity substrate, it discovered that it was high-speed, and was highly precise, and could form by the machining method or the ablation processing method so that it might be possible to form a closing-in portion and a slot or a crevice might be later mentioned in this case. Consequently, it checked that the progressive wave form optical modulator of this invention could be manufactured with high productivity.

[0015] Under the present circumstances, when making a modulation rate still higher, as for the thickness of a closing-in portion, it is desirable that it is 50 micrometers or less, and it is much more desirable that it is 20 micrometers or less. Moreover, in order to hold intensity fixed about electrode section, it is desirable to set thickness of a closing-in portion to 5 micrometers or more.

[0016] Moreover, if predetermined intensity is required and a substrate is too thin in case a substrate is dealt with, it will become easy to generate a defective by breakage or the crack. According to this point and this invention, a closing-in portion can be prepared only in the predetermined part which influences the working speed of electrode section, and let other portions be the thickness which can give sufficient intensity. For this reason, as for the thickness of portions other than the closing-in portion of a substrate, it is desirable to be referred to as 150 micrometers or more. Moreover, 1000 micrometers or less are desirable.

[0017] Hereafter, the relation between the thickness of a closing-in portion and the greatest 3dB bandwidth is shown in Table 1. As shown in Table 1, when 3dB bandwidth is about 10 GHz-cm when the thickness of a closing-in portion is 100 micrometers or more and it is 50 micrometers, it is about 15 GHz-cm, when it is about 30 GHz-cm and is 5

micrometers in 10 micrometers, it is about 100 GHz-cm, and the modulation rate is improving sharply. In addition, when the thickness of a closing-in portion was 3 micrometers, the crack occurred.

[0018]

[Table 1]

肉厚部分の厚さ (μm)	3	5	10	20	50	100	300
3 dB帯域幅 GHz \cdot cm	—	100	30	20	15	10	10

[0019] The reason such an operation effect was acquired is considered as follows. By forming a crevice or a slot in the rear-face side of a substrate, and making electrode section closing in, remarkable leak of the electric field generated by the modulated wave (microwave) which passes electrode section is carried out at the air by the side of the rear face of a substrate (inside of a slot or a crevice). Consequently, the phase velocity of a modulated wave rises and the phase matching in the difficult field becomes possible conventionally.

[0020] In a progressive wave form optical modulator, it is desirable to form a substrate and an optical waveguide with the single crystal more than a kind chosen from the group which consists of a lithium niobate single crystal, a lithium-tantalate single crystal, and a lithium-niobate-lithium-tantalate solid-solution single crystal. Moreover, which direction of Z, X, and Y is sufficient as the direction of a substrate, and the means of the optical waveguide by titanium diffusion and the electrode formation to up to it can be conventionally used for it as it is.

[0021] Furthermore, when the electric-field correction factor by the substrate direction was calculated, it found out that a big difference was accepted by crystal orientation. That is, as shown in Table 2, when using the substrate of X cut or Y cut direction, there is the advantage in which-izing of the half-wave length voltage, i.e., driver voltage, of this device can be carried out [low battery], by making thickness thin. On the other hand, if the substrate of Z cut direction is used, in connection with thickness becoming thin, a bird clapper will serve as [half-wave length voltage] demerit large. Generally in the Z cut direction, the advantage at the time of troubles, like there is the need of forming the buffer layer of the silicon oxide for the cure against DC drift being also in a substrate, and using the substrate of X cut or Y cut direction is large.

[0022]

[Table 2]

肉厚部分の厚さ (μm)		3	5	10	20	50	100	300
Xカット Yカット	電界補正係数	0.84	0.81	0.70	0.65	0.62	0.6	0.6
	半波長電圧 V_{π} (V)	5.0	5.2	6.0	6.5	6.8	7.0	7.0
Zカット	電界補正係数	0.17	0.21	0.35	0.53	0.58	0.6	0.6
	半波長電圧 V_{π} (V)	25	20	12	8	7.2	7.0	7.0

電極長さ=10mm、電極ギャップ=20 μm

[0023] Although various laser can be used for said ablation processing, especially an excimer laser is desirable. Ablation processing is the processing method of making the portion equivalent to which light was decomposing and evaporating in an instant, and acquiring the target configuration, by irradiating the light of a high energy like excimer laser light at the quality of the material for processing. An excimer laser is the laser beam of the ultraviolet region whose wavelength is 150-300nm, and there is the feature that wavelength can be chosen according to the kind of gas to enclose.

[0024] this invention person examined the ablation processing technology by the excimer laser, the assistant-among liquid etching processing method, etc. on the occasion of processing the rear-face side of a ferroelectricity substrate. Consequently, according to ablation processing which used the excimer laser, it discovered that a closing-in portion

could be formed for very high productivity. And the stability of a remarkable optical property and the stability of a configuration were acquired about the obtained closing-in portion and slot, or crevice.

[0025] Here, by ablation processing, since it sets into the portion by which light was irradiated and the quality of the material of a substrate decomposes and evaporates in an instant, in a part for the periphery which light does not hit directly, there is almost no influence of heat, stress, etc., and the stability of an optical property is considered that a damaged layer did not generate at all along with the closing-in portion for this reason.

[0026] It is necessary to use the light by the side of short wavelength rather than the absorption end of the quality of the material of a substrate as the light source for ablation processing. However, the light which has the wavelength of 350nm or less is usually desirable. Since the light irradiated to the substrate by using the light which has the wavelength of 350nm or less is absorbed very much in a surface layer when processing the substrate which consists of an oxide single crystal especially, only a surface layer is decomposed and a processing damage is not given to the interior of a substrate.

[0027] Since it changes with the position of the optical-absorption edge of a crystal used as the candidate for processing, the suitable wavelength field for such ablation processing cannot be specified uniformly. However, the oxide single crystal generally used for an optical-waveguide use has the optical-absorption edge to the field with a wavelength of 350nm or less. For this reason, when an argon laser with a wavelength of 512nm was used, for example, good ablation processing was impossible. As this reason, it is the shell to which light penetrates to the interior of an oxide single crystal, and ablation by absorption in a front face cannot happen easily rather than the absorption end of the quality of the material of a substrate since it is the light of long wavelength.

[0028] As for the wavelength of the light for ablation processing, it is much more desirable to be referred to as 300nm or less. However, it is desirable to be referred to as 150nm or more from a practical viewpoint. Moreover, now as the actual light source, the fourth higher harmonic (266nm laser beam) of YAG, an excimer lamp, etc. are [other than an excimer laser] practical.

[0029] As an optical irradiation equipment for ablation processing, the so-called equipment of a package exposure method and the equipment of a multiple reflection method are known. In the case of the multiple reflection method, when the hole density of a mask is small, it has the feature that the utilization factor of light is high. In this invention, it is much more desirable to use the ablation processing equipment by the multiple reflection system, and it can be processed in a short time about the CHIBBU pattern formed of this over the whole wafer which has the size of 1 inches or more.

[0030] Here, an excimer laser is explained further. An excimer laser is the pulse repeat oscillation laser of ultraviolet rays, arranges directivity with an optical resonance machine, and takes out the ultraviolet radiation which the compound of the shape of a gas, such as ArF (wavelength of 193nm), KrF (wavelength of 248nm), and XeCl (wavelength of 308nm), oscillates. Since an excimer laser is a short wavelength laser of ultraviolet rays, combination of the atom and molecule which constitute the matter can be decomposed with the energy of a photon, and the application based on this chemical operation has been developed.

[0031] Ablation processing using the excimer laser is used for opening a hole for micro processing, such as a polyimide, and it is reported that formation of a hole with a good detailed configuration is possible. As reference about the applied technology of an excimer laser, the "O plus E" November, 1995 issue and a page [64-108th] special edition "the excimer laser which entered at the practical use term" can be mentioned.

[0032] In this invention, the following three modes can be mentioned as a method of forming a ridge type optical waveguide with an excimer laser.

(1) Spot scan processing. The spot-like flux of light is irradiated and the flux of light is advanced in the fixed direction so that the optical axis of laser may become perpendicular to the rear face (principal plane of another side) of a substrate. Consequently, a slot is formed in the portion which the flux of light passed. If it is such a method, a processing deposit is removable with etching processing after processing. Moreover, since the pattern of a slot is formed by the scan of the spot-like flux of light, the closing-in portion which has arbitrary superficial configurations can be formed.

[0033] (2) Package imprint processing. The slot of a predetermined superficial pattern is formed without irradiating directly the flux of light which passed beforehand the mask which has a predetermined imprint pattern at the principal plane of a substrate, and moving the flux of light. If it is such a method, since the superficial imprint pattern of a mask will be collectively imprinted on a substrate, processing efficiency is high and the repeatability of the superficial configuration of a slot is very good. However, it is necessary to make high production precision of the mask for oscillating the laser beam of a large area and making a laser beam penetrate, and to also make precision of optical system high.

[0034] (3) Slit scan processing. The mask which has the slit of a long and slender pattern is made to penetrate laser,

and the laser beam bunch which has the superficial configuration of a long and slender rectangle is acquired. The flux of light of the shape of this slit is irradiated and moved to the rear face of a substrate. According to this method, the configuration of the base of the slot formed of processing becomes smooth especially. However, by this method, it sees superficially and only the slot which is linear [-like] can be formed.

[0035] Although the front face by the side of the rear face of a closing-in portion (base of a slot) needed to be made flat when the ablation processing method which used the excimer laser was used, processing in the precision of 1 micrometer or less was possible in fact. Moreover, although the thickness of a closing-in portion also needed to be controlled precisely, processing in the precision of 0.5 micrometers or less was possible to target thickness. It is desirable to perform ablation processing, measuring the thickness of a closing-in portion by the laser interferometer, in order to realize processing with such high degree of accuracy.

[0036] Moreover, it was possible to have formed said closing-in portion also with highly precise machining. In this case, a cutting method is the most desirable. Moreover, as machining equipment, what raised the position precision of the Z direction of slicing equipment can be used preferably. Moreover, the body of revolution equipped with the cutting gear tooth is used preferably.

[0037] Drawing 1 (a) is the perspective diagram showing the progressive wave form optical modulator 1 before processing, and drawing 1 (b) is the perspective diagram which looked at the modulator 1 from the rear-face 1b side. The Mach TSUENDA type optical waveguide 2 is formed in the principal plane 1a side of a modulator. an optical waveguide 2 is prolonged between 1d of sides of a couple -- as -- and side 1c -- receiving -- abbreviation -- it is formed so that it may be prolonged toward an parallel direction The optical waveguide 2 is equipped with the I/O portions 2a and 2f, the branch points 2b and 2e, and the branching portions 2c and 2d of a couple. The counterelectrode portions 3 and 4 of a couple are formed and each electrode section is connected to the power supply which is not illustrated so that 2d of one branching portions may be pinched.

[0038] Subsequently, as shown in drawing 2 (a), laser 5 is irradiated in the predetermined part by the side of principal plane 1b of another side, and laser is moved as Arrow A shows and it scans. Consequently, a slot 7 is formed as shown in drawing 2 (b). Finally, as shown in drawing 3 (a), the long and slender slot 7 is formed in the principal plane 1b side of another side of a substrate 1 in the field of electrode section 3 and 4. This slot 7 is equipped with inclined side 7b and inclined base 7a as shown in drawing 3 (b). And the closing-in portion 12 is formed in the field to which a slot 7 exists.

[0039] In drawing 2 (a) and (b), although ablation processing by the spot scanning method was illustrated, the same slot 7 as this can be formed with a package exposure method or a slit scan method.

[0040] Subsequently, it invents about the embodiment which changed various exposure methods by laser, referring to drawing 4 (a), (b), and (c). Drawing 4 (a) shows the form of the slot at the time of adopting a focal fixed method. In drawing 2 (a), laser 5A is irradiated, a slot 8 is formed by one exposure, and closing-in partial 12A is formed in the principal plane 1b side of another side of a substrate 1 by this. since [under the present circumstances,] a focus suits in the portion near principal plane 1b of another side among slots 8 -- principal plane 1b -- receiving -- abbreviation -- a perpendicular field is formed However, along with approaching the base of a slot 8, gap of a focus becomes large and side 8a of a slot 8 inclines to a field perpendicular to principal plane 1b. Only when a lens with a long focal distance is used, this method can be enforced and the laser of high power is required for it.

[0041] Drawing 4 (b) readjusts a focus gradually, and shows the gestalt of the slot 9 at the time of adopting the method which exposes multiple times. For example, as 5B, 5C, and 5D showed, it should expose by readjusting a focus 3 times. according to this method -- principal plane 1b -- receiving -- abbreviation -- the depth of perpendicular side 9a can be enlarged Closing-in partial 12B is formed of a slot 9. however -- too -- side 9b near the base 9c -- principal plane 1b -- receiving -- abbreviation -- since it inclines to a perpendicular field, the thickness of closing-in partial 12B tends to become uneven

[0042] Drawing 4 (c) shows the gestalt of the slot 10 at the time of adopting the method which changes a focal superficial position and performs multiple-times exposure. It exposes over the latus range at first like 5E, and center-section part 10c of a slot 10 and periphery partial 10a are formed. Here, since the depth of 10a and 10c is almost the same and the depth of 10a and 10c is smaller than the slot 8 shown in drawing 4 (a), the side of 10a becomes a perpendicular mostly to principal plane 1b. Subsequently, to center-section part 10c, exposure 5E is performed again and 10d of central portions is formed. Closing-in partial 12C is formed of 10d of central portions. According to this method, since the base of 10d of central portions of a slot 10 can be made flat, it is easy to control the thickness of 12C uniformly. However, since the number of exposure processes increases and the portion of 10a of a substrate is also pressing hard, it becomes easy for the intensity of a substrate to fall.

[0043] Drawing 5 is an optical microscope photograph in which the gestalt of the cross section of the slot 8 formed with the method of drawing 4 (a) is shown. Drawing 6 is an optical microscope photograph in which the gestalt which

looked at the slot 9 formed with the method of drawing 4 (b) from across is shown. Drawing 7 is an optical microscope photograph in which the gestalt which looked at the slot 10 formed with the method of drawing 4 (c) from across is shown.

[0044]

[Example] Hereafter, a still more concrete experimental result is explained.

(Example 1) The principal plane (rear face) side of another side of the substrate which consists of a 3 inch wafer (LiNbO₃ single crystal) which carried out X cut was deleted, and thickness of a wafer was set to 300 micrometers. Subsequently, by the titanium diffusion process and the photo lithography method, the optical waveguide 2 and electrode section 3 and 4 of a gestalt as shown in drawing 1 were formed in one principal plane of a wafer, and the Mach TSUENDA type progressive wave form optical modulator was produced. However, it is processed into the wafer-like substrate in this example 1.

[0045] This principal plane was coated with the resist film, it set to the excimer laser finishing machine, and alignment of a processing position was performed on the basis of the cage hula side of a substrate. The KrF excimer laser was used as the light source, it exposed according to the spot scanning method, and the principal plane side of another side was processed. The size of the irradiated spot serves as a scanning direction of 1.0mm, and width of face of 0.2mm, and irradiation energy densities are 6 J/cm². Optical system was adjusted so that it might become. By 15ns of pulse width, 600Hz of pulse frequencies, and scan speed 0.1 mm/sec, the rear-face side of a voltage impression portion was processed, and the slot 7 was formed.

[0046] The time taken to form a slot with a length of 20mm was 200 seconds. In drawing 3 (b), the configuration of the cross section of the produced slot 7 was a trapezoid, the width of face b of the entrance of a slot 7 was 100 micrometers, depth c was 290 micrometers, distance-across-vee a was 50-60 micrometers, and thickness d of the closing-in portion 12 was 10 micrometers. In this way, the produced wafer was cut by the dicing saw finishing machine, it divided into each progressive wave form optical modulator, and optical polish of the end face of an optical waveguide was carried out.

[0047] The optical insertion loss of the optical modulator which did not form a slot 7 was about 6dB on the wavelength of 1.55 micrometers, and the optical insertion loss of the optical modulator in which the slot 7 was formed was about 6dB. Moreover, as a result of measuring 3dB bandwidth about the optical modulator which did not form a slot 7, it was 5GHz and 3dB bandwidth of the optical modulator in which the slot 7 was formed was 15GHz. Furthermore, when half-wave length voltage was measured about the optical modulator which did not form a slot 7, it was 3.5V, and the half-wave length voltage of the optical modulator in which the slot 7 was formed was 3.0V.

[0048] (Example 2) The Mach TSUENDA type progressive wave form optical modulator was produced like the example 1. The principal plane of the substrate of this wafer configuration was coated with the resist film, and it set to it at the micro grinder finishing machine. Alignment of a processing position was performed on the basis of the cage hula side of a substrate. As a grinding stone, it is the diamond wheel of resin system bond, and granularity used the **5000 No. grinding stone. The rotational frequency was set to 30000rpm, the feed rate of a grinding stone was carried out in 0.1mm/second, the rear-face side of a voltage impression portion was processed, and the slot 7 was formed.

[0049] The time taken to form a slot with a length of 20mm was about 5 minutes. In drawing 3 (b), the configuration of the cross section of the produced slot 7 was a rectangle. The width of face b of the entrance of a slot 7 was 80-100 micrometers, depth c was 295 micrometers, distance-across-vee a was 80-100 micrometers, and the thickness of a closing-in portion was 5 micrometers. In this way, the produced wafer was cut by the dicing saw finishing machine, it divided into each progressive wave form optical modulator, and optical polish of the end face of an optical waveguide was carried out.

[0050] The optical insertion loss of the optical modulator which did not form a slot 7 was about 6dB on the wavelength of 1.55 micrometers, and the optical insertion loss of the optical modulator in which the slot 7 was formed was about 6dB. Moreover, as a result of measuring 3dB bandwidth about the optical modulator which did not form a slot 7, it was 5GHz and 3dB bandwidth of the optical modulator in which the slot 7 was formed was 50GHz. Furthermore, when half-wave length voltage was measured about the optical modulator which did not form a slot 7, it was 3.5V, and the half-wave length voltage of the optical modulator in which the slot 7 was formed was 2.6V.

[0051]

[Effect of the Invention] The working speed can be raised in an optical-waveguide device equipped with a substrate equipped with the principal plane of the couple which carries out phase opposite like according to this invention described above, the optical waveguide currently formed in one principal plane side of this substrate, and electrode section. Moreover, in a progressive wave form optical modulator, it enables it to manufacture such a progressive wave form optical modulator with the few number of processes with enabling a high-speed modulation, highly precise alignment can be made unnecessary, and generation of the damaged layer by the processing damage can also be

prevented.

[Translation done.]

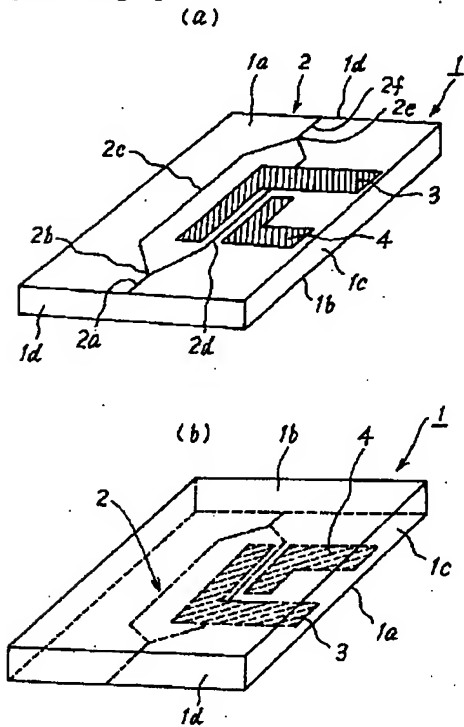
* NOTICES *

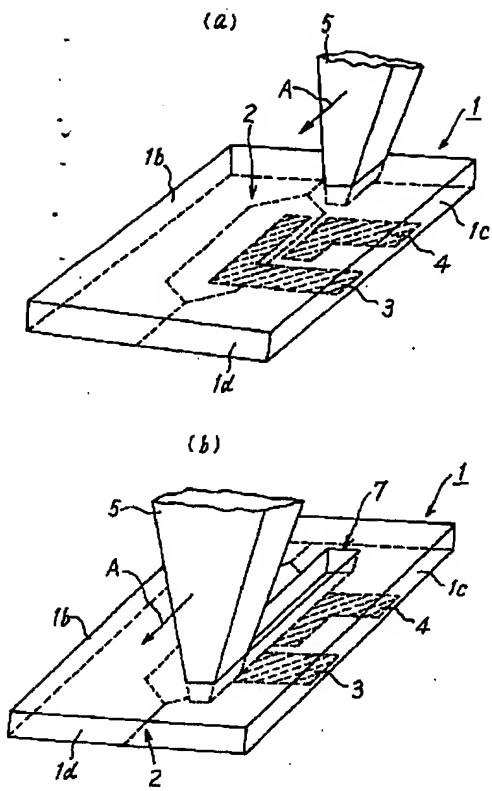
Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

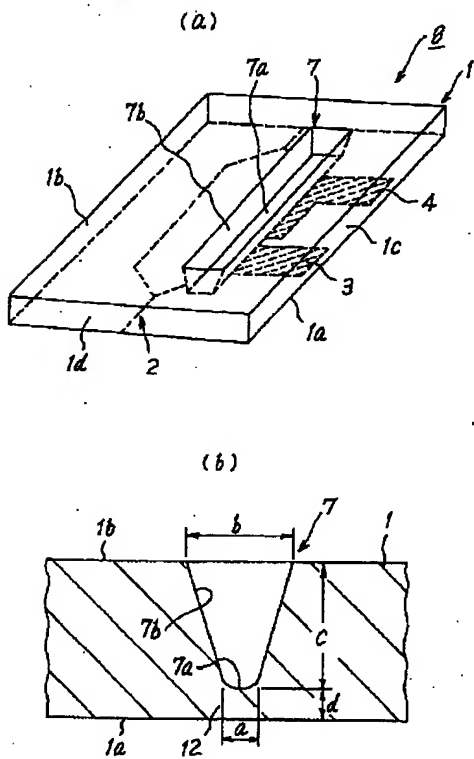
DRAWINGS

[Drawing 1]

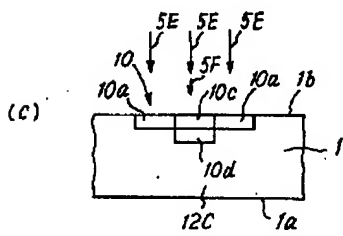
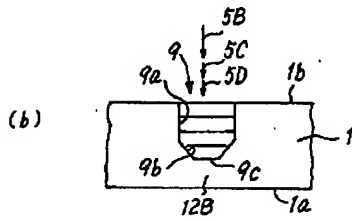
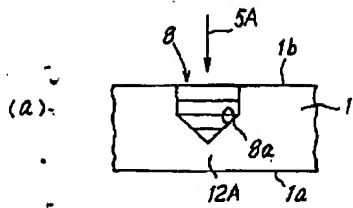




[Drawing 3]

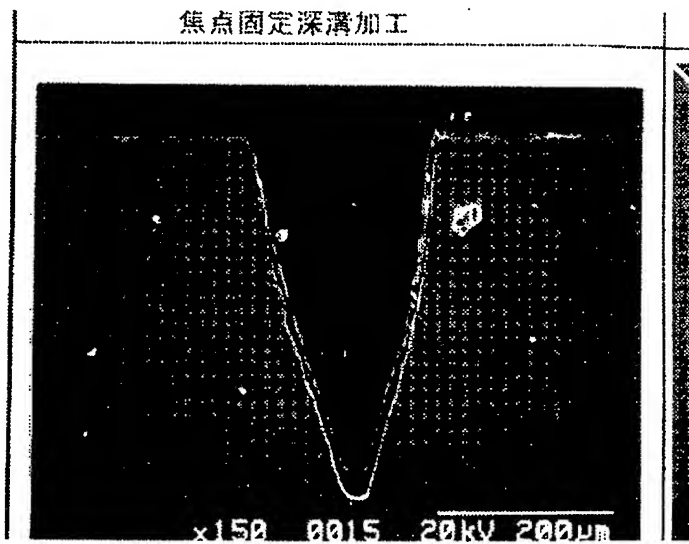


[Drawing 4]



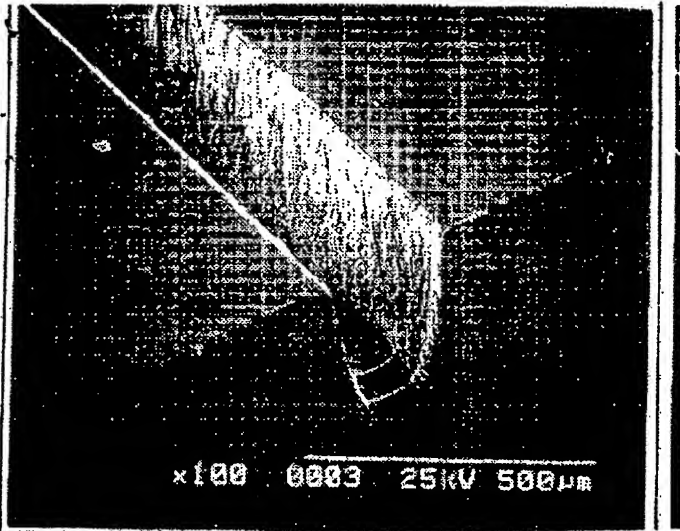
[Drawing 5]

圖面代用写真



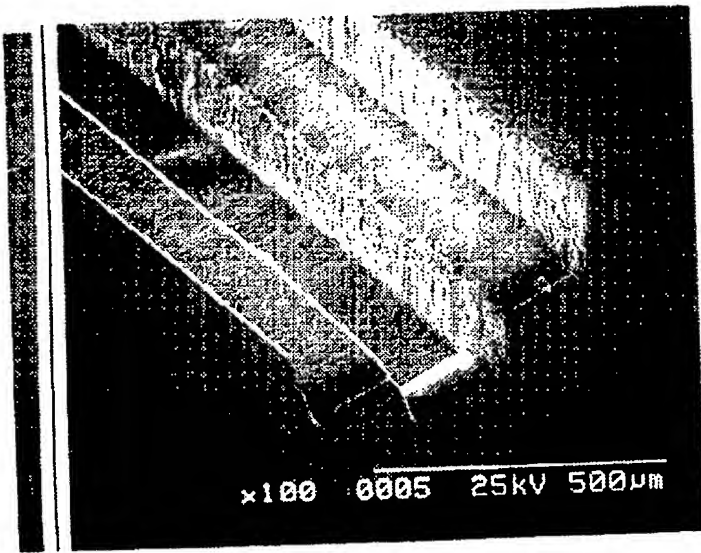
[Drawing 6]

図面代用写真



[Drawing 7]

図面代用写真



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-133159

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月22日

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

G02F 1/035

G02B 6/12

6/13

F I

G02F 1/035

G02B 6/12

J

M

審査請求 未請求 請求項の数 9 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-85579

(22) 出願日 平成 9 年 (1997) 3 月 21 日

(31) 優先権主張番号 特願平8-255301

(32) 優先日 平 8 (1996) 9 月 6 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004064

日本碍子株式会社

愛知県名古屋瑞穂区須田町 2 番 56 号

(72) 発明者 皆方 誠

静岡県浜松市広沢 1-23-3 合同宿舍 3-31

(72) 発明者 今枝 美能留

愛知県名古屋瑞穂区須田町 2 番 56 号 日本碍子株式会社内

(72) 発明者 吉野 隆史

愛知県名古屋瑞穂区須田町 2 番 56 号 日本碍子株式会社内

(74) 代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外 9 名)

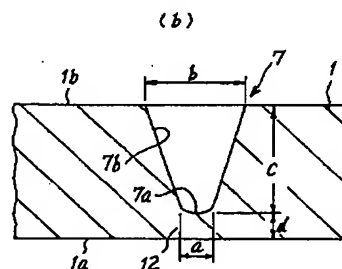
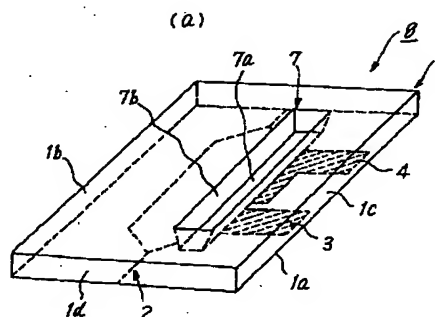
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路デバイス、進行波形光変調器および光導波路デバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 基板と、基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスにおいて、その動作速度を向上させること

【解決手段】 光導波路デバイス 8 は、相対向する一対の主面 1 a、1 b を備えている基板 1 と、基板 1 の一方の主面 1 a 側に形成されている光導波路 2 と、電極部分 3、4 とを備えている。少なくとも電極部分 3、4 の位置において、基板 1 に、厚さが相対的に小さい肉薄部分 1 2 が設けられている。好ましくは、肉薄部分 1 2 の厚さが 5 μ m 以上、50 μ m 以下であり、肉薄部分 1 2 以外の基板 1 の厚さが 150 μ m 以上である。基板 1 の他方の主面 1 b 側からアブレーション加工や研削加工を施すことによって、肉薄部分 1 2 を形成できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】相対向する一対の主面を備えている基板と、この基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスであって、少なくとも前記電極部分の位置において前記基板に厚さが相対的に小さい薄肉部分が設けられていることを特徴とする、光導波路デバイス。

【請求項2】前記基板および前記光導波路が、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶およびニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶からなる群より選ばれた一種以上の単結晶によって形成されていることを特徴とする、請求項1記載の光導波路デバイス。

【請求項3】前記肉薄部分の厚さが $5\mu\text{m}$ 以上、 $50\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、請求項1または2記載の光導波路デバイス。

【請求項4】前記肉薄部分以外の前記基板の厚さが $150\mu\text{m}$ 以上、 $1000\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、請求項3記載の光導波路デバイス。

【請求項5】前記基板の方位がXカットもしくはYカット方位であることを特徴とする請求項1～4のいずれか一つの記載の光導波路デバイス。

【請求項6】請求項1～5のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイスを製造するのに際して、前記基板の他方の主面側から加工を施すことによって前記肉薄部分を形成することを特徴とする、光導波路デバイスの製造方法。

【請求項7】アブレーション加工法によって前記肉薄部分を形成することを特徴とする、請求項6記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項8】機械加工によって前記肉薄部分を形成することを特徴とする、請求項6記載の光導波路デバイスの製造方法。

【請求項9】請求項1～5のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイスを備えている進行波形光変調器であって、前記基板が強誘電性の電気光学単結晶からなり、前記電極部分が、前記光導波路中を伝搬する光を変調するための電圧を印加するための一対の電極であり、かつ前記電極部分に対して電力を供給する電力供給装置を備えていることを特徴とする、進行波形光変調器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の技術分野】本発明は、進行波形光変調器等の光導波路デバイス、およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光通信分野においては、通信容量の飛躍的な増大が予測されており、このために光伝送系の容量の増大が必要である。現状では、 $1.6\text{GB}/\text{秒}$ の伝送速度が実用化されつつあるが、光ファイバの伝送可能な

周波数帯域（約 200THz ）と比較すると、高々 10 万分の一程度しか実用化されていない。伝送容量を飛躍的に増大させるのに重要なことは、光変調技術を進展させることである。

【0003】ニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 ）、タンタル酸リチウム（ LiTaO_3 ）、ガリウム砒素（ GaAs ）を光導波路に適用した進行波形光変調器は、優れた特性を備えており、高効率で高帯域化を達成できる可能性がある。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムは、強誘電体として非常に優れた材料であり、電気光学定数が大きく、短い光路で光の制御が可能であるという利点を有している。進行波形光変調器の変調速度を制限する要因としては、速度不整合、分散および電極損失などが挙げられる。このうち、速度不整合および分散については、主として進行波形光変調器の構造によって決定されるので、構造の解析および設計が重要である。一方、電極損失については、材料の導電率や表皮効果が重要である。

【0004】速度不整合について、更に説明する。進行波形電極においては、光導波路中を進行する光と、電極中を伝搬する電気信号（マイクロ波）との速度は、大きく異なっている。結晶中を伝搬する光の速度を V_0 とし、マイクロ波の速度を V_m とする。例えば、プレーナ型電極を有する LiNbO_3 光変調器の場合には、次のようになる。まず、 LiNbO_3 単結晶の屈折率は 2.14 であり、光導波路中を進行する光の速度は、これに反比例する。一方、マイクロ波の実効屈折率は、導体近傍の誘電率の平方根によって与えられる。 LiNbO_3 単結晶の誘電率は、一軸性であり、Z軸方向が 28 、X軸方向、Y軸方向が 43 である。従って、誘電率が 1 である空気の影響を考慮しても、従来の構造の LiNbO_3 光変調器におけるマイクロ波の実効屈折率は約 4 となり、 2.14 の約 1.9 倍になる。従って、光波の速度はマイクロ波の速度よりも約 1.9 倍大きい。

【0005】光変調帯域幅 f_m ないし変調速度の上限は、光波とマイクロ波との速度差の逆数に比例する。即ち、 $f_m = 1 / (V_0 - V_m)$ が成立する。従って、電極損失を 0 と仮定すると、帯域幅 $f_m \times$ 電極長 $l = 9.2\text{GHz} \cdot \text{cm}$ が限界となる。実際に、電極長 $l = 2.5\text{mm}$ の光変調器において、 $f_m = 40\text{GHz}$ という値が報告されている。この動作速度の限界による影響は、電極が長いほど、顕著になる。従って、広帯域であって、高効率特性を有する光変調器の実現が強く望まれている。

【0006】最近、光導波路型高速変調器や高速スイッチ等の光導波路デバイスにおいて、基板の上部の電極の形状を特殊な形状としたり、ガラス堆積層を形成したりすることによって、光導波路の内部を進行する光と、外部から印加される変調電圧との間での位相整合周波数を数十 GHz へと高広帯域化することが提案されている。

(「O plus E」1995年5月号第91頁～97頁、「LNを用いたEOデバイス」)。

【0007】この文献によれば、マイクロ波の速度は、細い信号電極とアース電極とを結ぶ電気力線が通る領域の誘電率の平均値によって決まるため、電極の厚さを大きくし、 SiO_2 からなるバッファ層の厚さを大きくすることによって、変調速度が向上するとされている。また、進行波電極は伝送経路であり、その特性インピーダンスを 50Ω に近づける必要がある。これらの条件を満足する設計として、せり出し形、ひさし形、溝堀り形、シールド形といった種々の形態の電極およびバッファ層を形成することが提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、このような構造の進行波形光変調器においては、基板の上部にバッファ層および複雑な形状の電極を形成する必要があるため、これらの製造プロセスが複雑であり、工程数が多く、コストが高い。しかも、光導波路の部分と、複雑な形状のバッファ層および電極との間で、高い位置合わせの精度を保持する必要がある。更に、加工ダメージによる加工変質層の生成によって、光屈折率等の特性が変化し易く、光導波路デバイスのシュミレーションの結果から見て特性が劣化し、光吸収特性や消光比特性が不十分になる。

【0009】しかも、こうした困難な製造上の問題点を解決できたとしても、依然として $10\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 以上の高速変調は困難であった。

【0010】本発明の課題は、相対向する一对の主面を備えている基板と、この基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスにおいて、その動作速度を向上させることである。

【0011】更に、本発明の課題は、進行波形光変調器において、高速変調を可能にするのと共に、こうした進行波形光変調器を、少ない工程数で製造できるようにし、高精度の位置合わせを不要とし、加工ダメージによる加工変質層の生成も防止することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、相対向する一对の主面を備えている基板と、この基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスであって、少なくとも電極部分の位置において基板に厚さが相対的に小さい薄肉部分が設けられていることを特徴とする、光導波路デバイスに係るものである。

【0013】本発明者は、前記の課題を解決し、従来よりも高速で動作するような進行波形光変調器を提供するべく研究を続けてきたが、この過程で、強誘電性基板の裏面側から加工を施すことによって、少なくとも電極部分の位置において強誘電性基板に厚さが相対的に小さい

薄肉部分を設けることを想到した。そして、この進行波形光変調器を使用して各種のシュミレーションを実施し、かつ変調実験を行ったところ、 $15\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 以上の極めて高速での変調が可能であることを見だし、本発明に到達した。

【0014】しかも、このような強誘電性基板の裏面側に溝ないし凹部を形成することによって、肉薄部分を形成することが可能であり、この際、溝ないし凹部を、後述するように機械加工法またはアブレーション加工法によって、高速度でかつ高精度で形成できることを発見した。この結果、高い生産性をもって本発明の進行波形光変調器を製造できることを確認した。

【0015】この際、肉薄部分の厚さは、変調速度を一層高くする上で、 $50\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以下であることが一層好ましい。また、電極部分について一定の強度を保持するために、肉薄部分の厚さを $5\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

【0016】また、基板を取り扱う際に所定の強度が必要であり、基板が薄すぎると、破損やクラックによって不良品が発生し易くなる。この点、本発明によれば、電極部分の動作速度に影響する所定箇所のみに肉薄部分を設け、他の部分は十分な強度を付与できる厚さとすることができる。このため、基板の肉薄部分以外の部分の厚さは、 $150\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。また、 $1000\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

【0017】以下、肉薄部分の厚さと最大の 3dB 帯域幅との関係を、表1に示す。表1から判るように、肉薄部分の厚さが $100\mu\text{m}$ 以上である場合には、 3dB 帯域幅は $10\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 程度であり、 $50\mu\text{m}$ である場合には $15\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 程度であり、 $10\mu\text{m}$ で $30\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 程度であり、 $5\mu\text{m}$ である場合には $100\text{GHz}\cdot\text{cm}$ 程度であって、変調速度が大幅に向上している。なお、肉薄部分の厚さが $3\mu\text{m}$ である場合には、クラックが発生した。

【0018】

【表1】

肉薄部分の厚さ (μm)	3	5	10	20	50	100	300
3dB 帯域幅 $\text{GHz}\cdot\text{cm}$	—	100	30	20	15	10	10

【0019】こうした作用効果が得られた理由は、次のように考えられる。基板の裏面側に凹部ないし溝を形成して電極部分を肉薄にすることによって、電極部分を通過する変調波（マイクロ波）によって生成する電界は、基板の裏面側の空気（溝ないし凹部中）にかなりリークする。この結果、変調波の位相速度が上昇し、従来は困難であった領域での位相整合が可能になる。

【0020】進行波形光変調器においては、基板および光導波路を、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶およびニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶からなる群より選ばれた一種以上の単結晶によって形成することが好ましい。また、基板の方位は、Z、X、Yのいずれの方向でも良く、従来チタン拡散による光導波路とその上への電極形成の手段を、そのまま採用できる。

【0021】さらに、基板方位による電界補正係数を計算したところ結晶方位により大きな差が認められることを見いだした。即ち、表2に示すように、Xカットもし

くはYカット方位の基板を用いる場合は肉厚を薄くすることにより、このデバイスの半波長電圧即ち駆動電圧が低電圧化できるという長所がある。これに対し、Zカット方位の基板を使用すると肉厚が薄くなるのに伴い、半波長電圧が大きくなるのが短所となる。一般にZカット方位では、基板にDCドリフト対策のための酸化シリコンのパッファ層を形成する必要があるなどの問題点もあり、XカットもしくはYカット方位の基板を用いた場合の利点は大きい。

【0022】

【表2】

肉厚部分の厚さ (μm)		3	5	10	20	50	100	300
Xカット Yカット	電界補正係数	0.84	0.81	0.70	0.65	0.62	0.6	0.6
	半波長電圧 V_{π} (V)	5.0	5.2	6.0	6.5	6.8	7.0	7.0
Zカット	電界補正係数	0.17	0.21	0.35	0.53	0.58	0.6	0.6
	半波長電圧 V_{π} (V)	25	20	12	8	7.2	7.0	7.0

電極長さ=10mm、電極ギャップ=20 μm

【0023】前記したアブレーション加工には各種レーザーを使用できるが、エキシマレーザーが特に好ましい。アブレーション加工とは、エキシマレーザー光のような高エネルギーの光を加工対象の材質に照射することによって、光の当たった部分を瞬時に分解および気化させ、目的の形状を得る加工方法である。エキシマレーザーとは、波長が150~300nmである紫外領域のレーザー光であり、封入するガスの種類によって波長を選択できるという特徴がある。

【0024】本発明者は、強誘電性基板の裏面側を加工するのに際して、エキシマレーザーによるアブレーション加工技術や、液中アシストエッチング加工法等を検討した。この結果、エキシマレーザーを使用したアブレーション加工によると、極めて高い生産性で肉薄部分を形成できることを発見した。しかも、得られた肉薄部分および溝ないし凹部について、著しい光学特性の安定性と形状の安定性が得られた。

【0025】ここで、光学特性の安定性については、アブレーション加工では、光の照射された部分において、基板の材質が瞬時に分解および気化するので、光が直接には当たらない周辺部分には、熱・応力等の影響がほとんどなく、このため肉薄部分に沿って加工変質層がまったく生成しなかったものと考えられる。

【0026】アブレーション加工用の光源としては、基板の材質の吸収端よりも短波長側の光を使用する必要がある。しかし、通常は、350nm以下の波長を有する

光が好ましい。特に、酸化物単結晶からなる基板を加工する場合には、350nm以下の波長を有する光を使用することによって、基板に対して照射された光が、極表面層中で吸収されるために、表面層のみを分解し、基板の内部には加工ダメージを与えない。

【0027】このようなアブレーション加工に好適な波長領域は、加工対象となる結晶の光吸収端の位置によって変動するため、一律には規定できない。しかし、一般的に光導波路用途に使用される酸化物単結晶は、350nm以下の波長の領域に光吸収端を有している。このため、例えば波長512nmのアルゴンレーザーを使用した場合には、良好なアブレーション加工は不可能であった。この理由としては、基板の材質の吸収端よりも長波長の光であるために、光が酸化物単結晶の内部まで透過し、表面での吸収によるアブレーションが起こりにくいからである。

【0028】アブレーション加工用の光の波長は、300nm以下とすることが一層好ましい。ただし、実用的な観点からは、150nm以上とすることが好ましい。また、現実の光源としては、エキシマレーザー光源の他に、YAGの四次高調波(266nmのレーザー光)、エキシマランプ等が、現在のところ実用的である。

【0029】アブレーション加工用の光照射装置としては、いわゆる一括露光方式の装置と多重反射方式の装置とが知られている。多重反射方式の場合には、マスクの開孔率が小さい場合にも、光の利用率が高いという特徴

を有している。本発明においては、多重反射系によるアブレーション加工装置を使用することが一層好ましく、これによって、1インチ以上の寸法を有するウエハーの全体にわたって形成されたチップパターンについて、短時間で加工することができる。

【0030】ここで、エキシマレーザーについて更に説明する。エキシマレーザーは、紫外線のパルス繰り返し発振レーザーであり、ArF（波長193nm）、KrF（波長248nm）、XeCl（波長308nm）などの気体状の化合物が発振する紫外光を、光共振機により方向性を揃えて取り出したものである。エキシマレーザーは、紫外線の短波長レーザーであるため、物質を構成する原子や分子の結合をフォトンのエネルギーで分解することができ、この化学的作用に基づいた応用が展開されてきている。

【0031】エキシマレーザーを用いたアブレーション加工は、例えば、ポリイミド等の微細加工のために孔を開けるのに使用され、良好な形状の微細な孔の形成が可能であることが報告されている。エキシマレーザーの応用技術に関する文献としては、「O p l u s E」1995年11月号、第64～108頁の特集「実用期に入ったエキシマレーザー」を挙げることができる。

【0032】本発明において、エキシマレーザーによってリッジ型光導波路を形成する方法としては、次の三つの態様を挙げることができる。

(1) スポットスキャン加工。基板の裏面（他方の主面）に対してレーザーの光軸が垂直となるように、スポット状の光束を照射し、光束を一定方向に進行させる。この結果、光束が通過した部分には溝が形成される。こうした方法であれば、加工後のエッチング加工によって、加工堆積層を除去できる。また、スポット状の光束の走査によって溝のパターンを形成しているため、任意の平面的形状を有する肉薄部分を形成できる。

【0033】(2) 一括転写加工。所定の転写パターンを有するマスクを予め通過した光束を、基板の主面に直接に照射し、光束を移動させることなく、所定の平面的パターンの溝を形成する。こうした方法であれば、マスクの平面的転写パターンを一括して基板上に転写しているので、加工能率が高く、かつ溝の平面的形状の再現性が極めて良好である。ただし、大面積のレーザービームを発振させる必要があり、かつレーザービームを透過させるためのマスクの作製精度を高くし、光学系の精度も高くする必要がある。

【0034】(3) スリットスキャン加工。レーザーを、細長いパターンのスリットを有するマスクに透過させ、細長い長方形の平面的形状を有するレーザー光束を得る。このスリット状の光束を、基板の裏面に照射し、移動させる。この方法によれば、加工によって形成された溝の底面の形状が、特に滑らかになる。ただし、この方法では、平面的に見て直線形状である溝しか形成でき

ない。

【0035】エキシマレーザーを使用したアブレーション加工法を使用した場合には、肉薄部分の裏面側の表面（溝の底面）を平坦にする必要があるが、実際には1μm以下の精度での加工が可能であった。また、肉薄部分の厚さも精密に制御する必要があるが、目標とする厚さに対して、0.5μm以下の精度での加工が可能であった。こうした高精度での加工を実現するためには、レーザー干渉計によって肉薄部分の厚さを測定しながら、アブレーション加工を行うことが好ましい。

【0036】また、高精度の機械加工によっても、前記した肉薄部分を形成することが可能であった。この場合には切削加工法が最も好ましい。また、機械加工装置としては、スライシング装置のZ方向の位置精度を向上させたものを好ましく使用できる。また、好ましくは、切削歯を備えた回転体を使用する。

【0037】図1(a)は、加工前の進行波形光変調器1を示す斜視図であり、図1(b)は、変調器1を裏面1b側から見た斜視図である。変調器の主面1a側には、マッハツェンダー型の光導波路2が形成されている。光導波路2は、一対の側面1d間に延びるように、かつ側面1cに対して略平行な方向へと向かって延びるように、形成されている。光導波路2は、入出力部分2a、2f、分岐点2b、2eおよび一対の分岐部分2c、2dを備えている。一方の分岐部分2dを挟むように、一対の対向電極部分3、4が形成されており、各電極部分は、図示しない電源に接続されている。

【0038】次いで、図2(a)に示すように、レーザー5を他方の主面1b側の所定箇所（矢印A）に照射し、レーザーを矢印Aで示すように移動させて走査する。この結果、図2(b)に示すように溝7が形成されてくる。最終的には、図3(a)に示すように、基板1の他方の主面1b側に、電極部分3、4の領域内で、細長い溝7が形成される。この溝7は、例えば図3(b)に示すように、傾斜した側面7bと底面7aとを備えている。そして、溝7が存在する領域には肉薄部分12が形成される。

【0039】図2(a)、(b)においては、スポットスキャン方式によるアブレーション加工を図示したが、これと同様の溝7を、一括露光方式やスリットスキャン方式によって形成することができる。

【0040】次いで、レーザーによる露光方式を種々変更した実施態様について、図4(a)、(b)、(c)を参照しつつ、説明する。図4(a)は、焦点固定方式を採用した場合の溝の形態を示す。図2(a)においては、基板1の他方の主面1b側にレーザー5Aを照射し、一回の露光で溝8を形成し、これによって肉薄部分12Aを形成している。この際、溝8のうち、他方の主面1bに近い部分では焦点が合うために、主面1bに対して略垂直な面が形成される。しかし、溝8の底面に近づくと、焦点のズレが大きくなり、主面1bに

垂直な面に対して、溝 8 の側面 8 a が傾斜してくる。この方法は、焦点距離の長いレンズを使用した場合のみ、実施可能であり、また高出力のレーザーが必要である。

【0041】図 4 (b) は、焦点を段階的に調節しなおして、複数回の露光を行う方式を採用した場合の溝 9 の形態を示す。例えば、5 B、5 C、および 5 D で示すように、焦点を 3 回調節しなおして、露光を行ったものとする。この方式によれば、主面 1 b に対して略垂直な側面 9 a の深さを大きくすることができる。溝 9 によって肉薄部分 1 2 B が形成される。ただし、やはり底面 9 c の近傍の側面 9 b は、主面 1 b に対して略垂直な面に対して傾斜するので、肉薄部分 1 2 B の厚さは不均一になり易い。

【0042】図 4 (c) は、焦点の平面的位置を変更して複数回露光を行う方式を採用した場合の溝 10 の形態を示す。最初は、5 E のように広い範囲にわたって露光し、溝 10 の中央部分 10 c および周縁部分 10 a を形成する。ここで、10 a と 10 c との深さはほぼ同じであり、かつ 10 a および 10 c の深さは、図 4 (a) に示す溝 8 よりも小さいので、10 a の側面は、主面 1 b に対してほぼ垂直になる。次いで、中央部分 10 c に対して、再び露光 5 E を行い、中央部分 10 d を形成する。中央部分 10 d によって肉薄部分 1 2 C が形成されている。この方式によれば、溝 10 の中央部分 10 d の底面を平坦にすることができるので、1 2 C の厚さを一定に制御し易い。しかし、露光工程数が多くなり、また、基板の 10 a の部分も肉薄になるために、基板の強度が低下し易くなる。

【0043】図 5 は、図 4 (a) の方式によって形成した溝 8 の横断面の形態を示す光学顕微鏡写真である。図 6 は、図 4 (b) の方式によって形成した溝 9 を斜め方向から見た形態を示す、光学顕微鏡写真である。図 7 は、図 4 (c) の方式によって形成した溝 10 を斜め方向から見た形態を示す、光学顕微鏡写真である。

【0044】

【実施例】以下、更に具体的な実験結果を説明する。

(実施例 1) X カットした 3 インチウエハー (LiNbO₃ 単結晶) からなる基板の他方の主面 (裏面) 側を削り、ウエハーの厚さを 300 μm とした。次いで、チタン拡散プロセスとフォトリソグラフィ法とによって、ウエハーの一方の主面に、図 1 に示すような形態の光導波路 2 および電極部分 3、4 を形成し、マッハツェンダー型の進行波形光変調器を作製した。ただし、本実施例 1 においては、ウエハー状の基板に加工を施している。

【0045】この主面にレジスト膜をコーティングし、エキシマレーザー加工機にセットし、基板のオリフラ面を基準にして、加工位置の位置合わせを行った。KrF エキシマレーザーを光源として使用し、スポットスキャン方式によって露光し、他方の主面側を加工した。照射したスポットのサイズが、走査方向 1.0 mm、幅 0.

2 mm となり、照射エネルギー密度が 6 J/cm² となるように光学系を調整した。パルス幅 15 nsec、パルス周波数 600 Hz、走査速度 0.1 mm/sec で、電圧印加部分の裏面側を加工し、溝 7 を形成した。

【0046】長さ 20 mm の溝を形成するのに要した時間は 200 秒であった。図 3 (b) において、作製した溝 7 の横断面の形状は台形であり、溝 7 の入口の幅 b は 100 μm であり、深さ c は 290 μm であり、底面の幅 a は 50 ~ 60 μm であり、肉薄部分 1 2 の厚さ d は 10 μm であった。こうして作製したウエハーをダイシングソー加工機で切断し、各進行波形光変調器に分割し、光導波路の端面を光学研磨した。

【0047】溝 7 を形成しなかった光変調器の光挿入損失は、1.55 μm の波長で約 6 dB であり、溝 7 を形成した光変調器の光挿入損失は約 6 dB であった。また、溝 7 を形成しなかった光変調器について、3 dB 帯域幅を測定した結果、5 GHz であり、溝 7 を形成した光変調器の 3 dB 帯域幅は、15 GHz であった。さらに、溝 7 を形成しなかった光変調器について、半波長電圧を測定したところ 3.5 V であり、溝 7 を形成した光変調器の半波長電圧は、3.0 V であった。

【0048】(実施例 2) 実施例 1 と同様にして、マッハツェンダー型の進行波形光変調器を作製した。このウエハー形状の基板の主面に、レジスト膜をコーティングし、マイクログラインダー加工機にセットした。基板のオリフラ面を基準にして、加工位置の位置合わせを行った。砥石としては、レジシン系ボンドのダイヤモンド砥石であって、粗さが #5000 番の砥石を使用した。回転数を 3000 rpm とし、砥石の送り速度を 0.1 mm/sec とし、電圧印加部分の裏面側を加工し、溝 7 を形成した。

【0049】長さ 20 mm の溝を形成するのに要した時間は、約 5 分であった。図 3 (b) において、作製した溝 7 の横断面の形状は長方形であった。溝 7 の入口の幅 b は 80 ~ 100 μm であり、深さ c は 295 μm であり、底面の幅 a は 80 ~ 100 μm であり、肉薄部分の厚さは 5 μm であった。こうして作製したウエハーをダイシングソー加工機で切断し、各進行波形光変調器に分割し、光導波路の端面を光学研磨した。

【0050】溝 7 を形成しなかった光変調器の光挿入損失は、1.55 μm の波長で約 6 dB であり、溝 7 を形成した光変調器の光挿入損失は約 6 dB であった。また、溝 7 を形成しなかった光変調器について、3 dB 帯域幅を測定した結果、5 GHz であり、溝 7 を形成した光変調器の 3 dB 帯域幅は、50 GHz であった。さらに、溝 7 を形成しなかった光変調器について、半波長電圧を測定したところ 3.5 V であり、溝 7 を形成した光変調器の半波長電圧は、2.6 V であった。

【0051】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、相

対向する一对の主面を備えている基板と、この基板の一方の主面側に形成されている光導波路と、電極部分とを備えている光導波路デバイスにおいて、その動作速度を向上させることができる。また、進行波形式光変調器において、高速変調を可能にするのと共に、こうした進行波形式光変調器を、少ない工程数で製造できるようにし、高精度の位置合わせを不要とし、加工ダメージによる加工変質層の生成も防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 (a) は、マッハツェンダー型の進行波形式光変調器 1 を概略的に示す斜視図であり、(b) は、進行波形式光変調器 1 を他方の主面 1 b 側から見た斜視図である。

【図 2】 (a) は、図 1 (b) の変調器をレーザーの照射によって加工している状態を概略的に示す斜視図であり、(b) は、この加工が進行した状態を示す斜視図である。

【図 3】 (a) は、加工後の変調器 8 を示す斜視図であり、(b) は、溝 7 の周辺部分の横断面を示す断面図で

ある。

【図 4】 (a) は、焦点固定方式を採用した場合の溝の形態を示す模式図であり、(b) は、焦点を段階的に調節しなおして、複数回の露光を行う方式を採用した場合の溝 9 の形態を示す模式図であり、(c) は、焦点の平面的位置を変更して複数回露光を行う方式を採用した場合の溝 10 の形態を示す模式図である。

【図 5】 図 4 (a) の方式によって形成した溝 8 の横断面の形態を示す光学顕微鏡写真である。

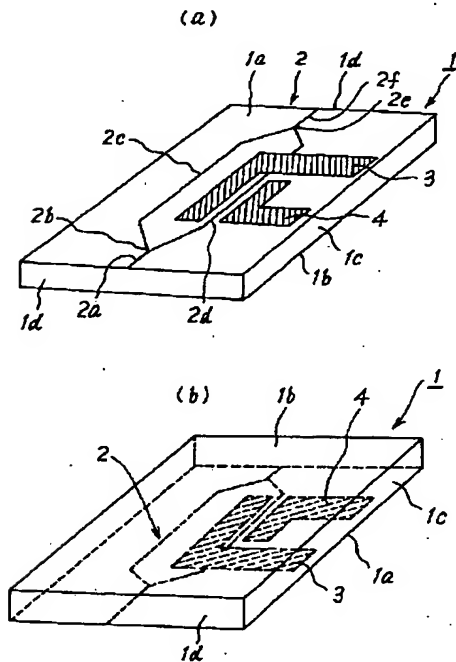
【図 6】 図 4 (b) の方式によって形成した溝 9 を斜め方向から見た形態を示す、光学顕微鏡写真である。

【図 7】 図 4 (c) の方式によって形成した溝 10 を斜め方向から見た形態を示す、光学顕微鏡写真である。

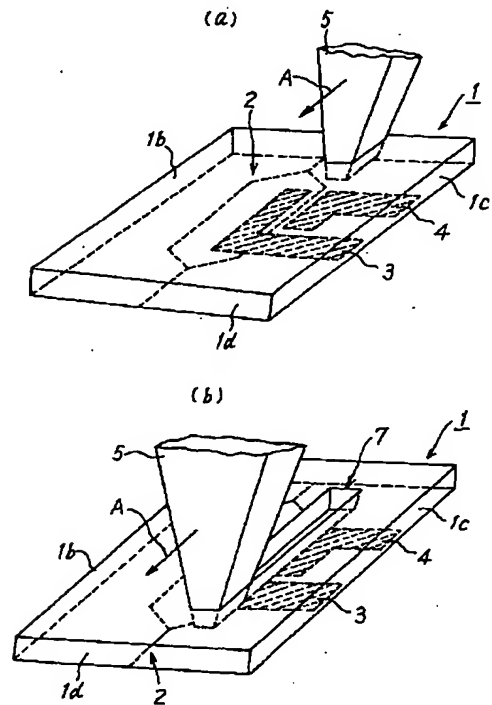
【符号の説明】

1 加工前の進行波形式光変調器 1 a 一方の主面
1 b 他方の主面 (裏面) 2 マッハツェンダー型の光導波路 3、4 一对の対向電極部分 5、5 A、5 B、5 C、5 D、5 E レーザー 7、8、9 溝 1 2、1 2 A、1 2 B 肉薄部分

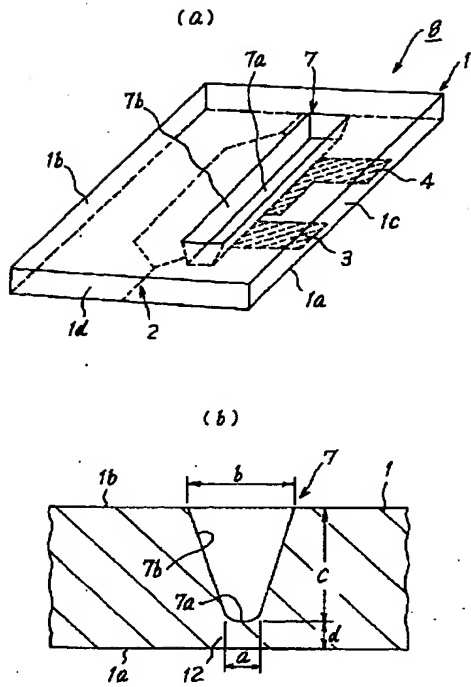
【図 1】



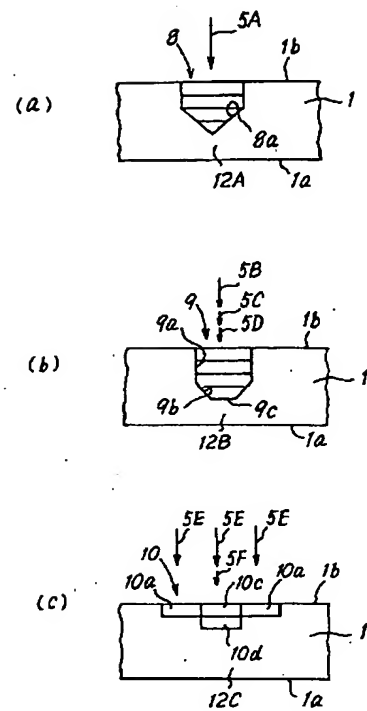
【図 2】



【図 3】



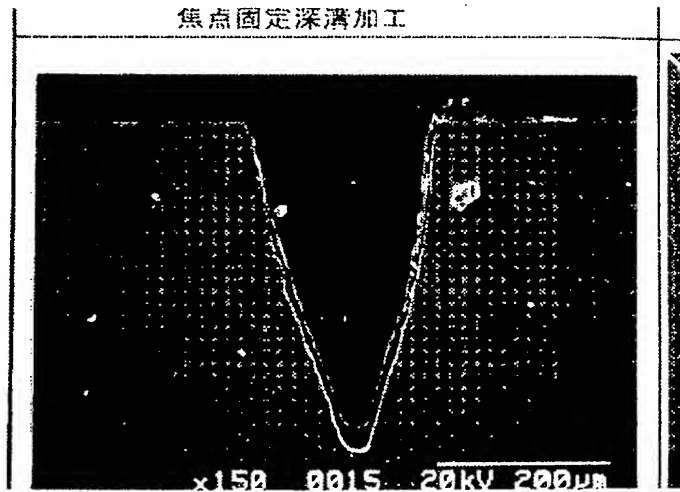
【図 4】



【図 5】

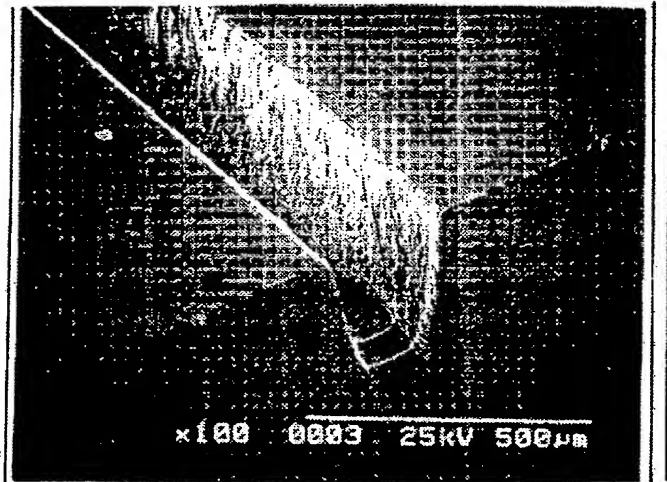
図面代用写真

焦点固定深溝加工



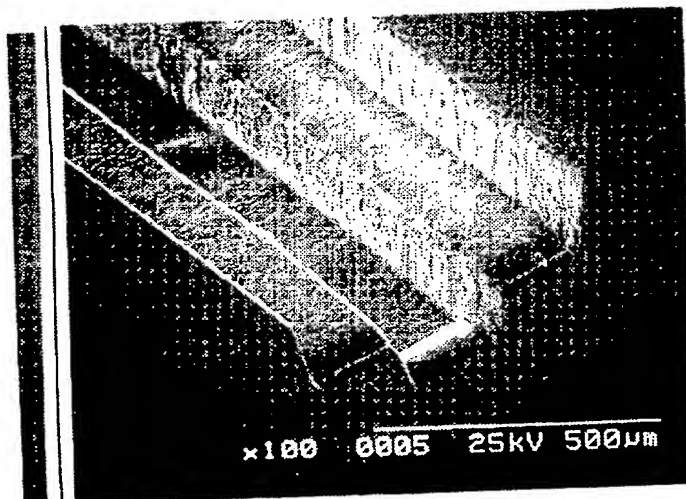
【図6】

図面代用写真



【図7】

図面代用写真



フロントページの続き

(72) 発明者 加藤 賢治
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日
本碍子株式会社内